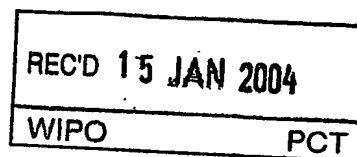


**BEST AVAILABLE COPY**



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 60 742.7 -

**Anmeldetag:** 23. Dezember 2002 ✓

**Anmelder/Inhaber:** Outokumpu Oyj, Espoo/FI

**Bezeichnung:** Verfahren und Anlage zum thermischen Behandeln  
von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett

**IPC:** B 01 J 8/42

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 10. November 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

*Schmidt*

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Schmidt O.**

## VERFAHREN UND ANLAGE ZUM THERMISCHEN BEHANDELN VON KÖRNIGEN FESTSTOFFEN IN EINEM WIRBELBETT

5

### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett, welches sich in einem Wirbelschicht-Reaktor befindet, bei dem Mikrowellenstrahlung durch mindestens einen Hohlleiter in den Wirbelschichtreaktor eingespeist wird, sowie eine entsprechende Anlage.

10

Es gibt mehrere Möglichkeiten, eine Mikrowellen-Quelle an Wirbelschicht-Reaktoren anzukoppeln. Dazu zählen bspw. ein offener Hohlleiter, eine Schlitzantenne, eine Koppelschleife, eine Blende, eine mit Gas oder einem anderen Dielektrikum gefüllte Koaxialantenne, oder ein mit einem mikrowellentransparenten Stoff (Fenster) abgeschlossener Hohlleiter. Die Art der Auskopplung der Mikrowellen aus der Einspeiseleitung dabei kann auf unterschiedlichem Wege erfolgen.

15

Mikrowellenenergie kann in Hohlleitern theoretisch verlustfrei transportiert werden. Der Hohlleiterquerschnitt ergibt sich als logische Weiterentwicklung eines elektrischen Schwingkreises aus Spule und Kondensator zu sehr hohen Frequenzen hin. Ein solcher Schwingkreis kann theoretisch ebenfalls verlustfrei betrieben werden. Bei einer starken Erhöhung der Resonanzfrequenz wird aus der Spule eines elektrischen Schwingkreises eine halbe Wicklung, die der einen Seite des Hohlleiterquerschnittes entspricht. Der Kondensator wird zu einem Plattenkondensator, der ebenfalls zwei Seiten des Hohlleiterquerschnittes entspricht. Im Realfall verliert ein Schwingkreis Energie durch den ohmschen Widerstand in Spule und Kondensator. Der Hohlleiter verliert Energie durch den ohmschen Widerstand in der Hohlleiterwand.

25

30

Aus einem elektrischen Schwingkreis kann man Energie abzweigen, indem man einen zweiten Schwingkreis ankoppelt, der dem ersten Energie entzieht. Analog kann durch Anflanschen eines zweiten Hohlleiters an einen ersten Hohlleiter aus diesem Energie ausgekoppelt werden (Hohlleiterübergang). Wird der erste Hohlleiter hinter der Einkopplungsstelle durch einen Kurzschlussschieber abgesperrt, kann sogar die gesamte Energie auf den zweiten Hohlleiter umgeleitet werden.

Die Mikrowellenenergie in einem Hohlleiter wird durch die elektrisch leitfähigen Wände eingeschlossen. In den Wänden fließen Wandströme und im Hohlleiterquerschnitt existiert ein elektromagnetisches Feld, dessen Feldstärke mehrere 10 KV pro Meter betragen kann. Wird nun ein elektrisch leitfähiger Antennenstab in den Hohlleiter gesteckt, kann dieser die Potentialdifferenz des elektromagnetischen Feldes direkt ableiten und bei geeigneter Form an seinem Ende auch wieder abstrahlen (Antennen- oder Stiftauskopplung). Ein Antennenstab, der durch eine Öffnung in den Hohlleiter eintritt und an einer anderen Stelle die Hohlleiterwand berührt, kann weiterhin Wandströme direkt aufnehmen und ebenfalls an seinem Ende abstrahlen. Wird der Hohlleiter hinter der Antenneneinkopplung durch einen Kurzschlussschieber abgesperrt, so kann auch in diesem Fall die gesamte Energie aus dem Hohlleiter in die Antenne umgeleitet werden.

Wenn die Feldlinien der Wandströme in Hohlleitern durch Schlitzte unterbrochen werden, so tritt durch diese Schlitzte Mikrowellenenergie aus dem Hohlleiter aus (Schlitzauskopplung), da die Energie nicht in der Wand weiterfließen kann. Die Wandströme in einem Rechteckhohlleiter fließen auf der Mitte der breiten Hohlleiterseite parallel zur Mittellinie und auf der Mitte der schmalen Hohlleiterseite quer zur Mittellinie. Querschlitze in der Breitseite und Längsschlitzte in der schmalen Seite koppeln daher Mikrowellenstrahlung aus Hohlleitern aus.

Mikrowellenstrahlung kann in elektrisch leitfähigen Hohlprofilen unterschiedlichster Geometrie geleitet werden, solange gewisse Mindestabmessungen nicht unterschritten werden. Die genaue Berechnung der Resonanzbedingungen ist mathematisch recht aufwendig, da letztlich die Maxwell-Gleichungen (stationäre, nichtlineare Differenzialgleichungen) mit den entsprechenden Randbedingungen gelöst werden müssen. Im Falle eines rechteckigen oder runden Hohlleiterquerschnittes lassen sich die Gleichungen aber soweit vereinfachen, dass sie analytisch lösbar sind und daher Probleme bei der Auslegung von Hohlleitern anschaulicher werden und einfacher lösbar sind. Deshalb, und aufgrund der relativ einfachen Herstellbarkeit werden industriell nur Rechteckhohlleiter und Rundhohlleiter eingesetzt, die auch erfindungsgemäß bevorzugt eingesetzt werden. Die hauptsächlich verwendeten Rechteckhohlleiter sind in der angelsächsischen Literatur genormt. Diese Normmaße wurden in Deutschland übernommen, weshalb teilweise ungerade Abmessungen auftreten. In der Regel sind alle industriellen Mikrowellenquellen der Frequenz 2,45 GHz mit einem Rechteckhohlleiter des Typs R26 ausgestattet, der einen Querschnitt von 43 x 86 mm aufweist. In Hohlleitern gibt es unterschiedliche Schwingungszustände: Bei dem transversalen elektrischen Mode (TE-Mode) liegt die elektrische Feldkomponente quer zur Hohlleiterrichtung und die magnetische Komponente in Hohlleiterrichtung. Bei dem transversalen magnetischen Mode (TM-Mode) liegt die magnetische Feldkomponente quer zur Hohlleiterrichtung und die elektrische Komponente in Hohlleiterrichtung. Beide Schwingungszustände können in allen Raumrichtungen mit unterschiedlichen Modenzahlen auftreten (z.B. TE-1-1, TM-2-0).

Ein Verfahren zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen ist aus der US 5,972,302 bekannt, wobei man sulfidisches Erz einer durch Mikrowellen unterstützten Oxidation unterwirft. Hierbei geht es vor allem um die Röstung von Pyrit im Wirbelbett, wobei die in das Wirbelbett geleiteten Mikrowellen die Bil-

5 dung von Hämatit und Elementarschwefel begünstigen und die SO<sub>2</sub>-Bildung unterdrücken. Man arbeitet hierbei in einem stationären Wirbelbett, welches von der direkt darüber befindlichen Mikrowellen-Quelle angestrahlt wird. Dabei kommt die Mikrowellen-Quelle oder aber die Eintrittsstelle der Mikrowellen  
10 zwangsläufig mit den aus dem Wirbelbett aufsteigenden Gasen, Dämpfen und Stäuben in Berührung.

10 In der EP 0 403 820 B1 wird ein Verfahren zum Trocknen von Stoffen in einer Wirbelschicht beschrieben, bei dem die Mikrowellen-Quelle außerhalb der Wirbelschicht angeordnet ist und die Mikrowellen mittels Hohlleiter in die Wirbelschicht eingeleitet werden. Bei offenen Hohlleitern besteht die Gefahr, dass die Mikrowellen-Quelle im Laufe der Zeit durch Staub oder Gase verdreckt und beschädigt wird. Dies kann durch mikrowellentransparente Fenster vermieden werden, die den Hohlleiter zwischen dem Reaktor und der Mikrowellenquelle  
15 abschließen. Allerdings führen in diesem Fall Ablagerungen auf dem Fenster zu einer Beeinträchtigung der Mikrowellenstrahlung.

### Beschreibung der Erfindung

20 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, die Einspeisung von Mikrowellen in eine stationäre oder zirkulierende Wirbelschicht effizienter zu gestalten und dabei die Mikrowellen-Quelle vor entstehenden Gasen, Dämpfen und/oder Stäuben zu schützen.

25 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art im Wesentlichen dadurch gelöst, dass ein Gasstrom durch den Hohlleiter in den Wirbelschicht-Reaktor eingespeist wird, der auch zur Mikrowelleneinstrahlung verwendet wird. Somit ist die Mikrowellen-Quelle außerhalb der stationären oder zirkulierenden Wirbelschicht angeordnet, wobei die Mikrowellenstrahlung durch mindestens einen Hohlleiter in den Wirbelschicht-Reaktor  
30

eingespeist und durch den Hohlleiter zusätzlich zur Mikrowellenstrahlung ein Gasstrom geführt wird. Durch den Gasstrom aus dem Hohlleiter wird zuverlässig vermieden, dass Staub oder Prozessgase in den Hohlleiter eintreten, sich bis zur Mikrowellen-Quelle ausbreiten und diese beschädigen. Daher kann erfindungsgemäß auf mikrowellentransparente Fenster in dem Hohlleiter zur Abschirmung der Mikrowellen-Quelle verzichtet werden, wie sie im Stand der Technik üblich sind. Bei diesen besteht nämlich das Problem, dass Ablagerungen von Staub oder anderen Feststoffen auf dem Fenster die Mikrowellenstrahlung beeinträchtigen und teilweise absorbieren können. Daher sind die erfindungsgemäß offenen Hohlleiter von besonderem Vorteil.

Eine Verbesserung des Verfahrens wird erreicht, wenn der durch den Hohlleiter eingespeiste Gasstrom Gase enthält, die mit dem Wirbelbett reagieren und im Falle eines zirkulierenden Wirbelschicht-Reaktors sogar für eine zusätzliche Fluidisierung des Wirbelbettes genutzt werden können. Es wird also ein Teil des Gases, das bisher durch andere Zuführleitungen in die Wirbelschicht eingeleitet wurde, zur Entstaubung des Hohlleiters verwendet. Dadurch kann auch auf die Bereitstellung von neutralem Spülgas verzichtet werden.

Eine weitere Verbesserung ergibt sich, wenn erfindungsgemäß der durch den Hohlleiter eingespeiste Gasstrom eine Temperaturdifferenz zu den in dem Wirbelschicht-Reaktor befindlichen Gasen und Feststoffen hat. Damit kann gezielt, je nach gewünschtem Effekt, zusätzliche Wärme in das Wirbelbett eingeleitet oder das Wirbelbett gekühlt werden.

Die thermische Behandlung kann nicht nur in einem stationären, sondern auch in einem zirkulierenden Wirbelbett (zirkulierende Wirbelschicht) erfolgen, wobei die Feststoffe kontinuierlich zwischen einem Wirbelschicht-Reaktor, einem mit dem oberen Bereich des Wirbelschicht-Reaktors verbundenen Feststoff-Abscheider und einer den Feststoff-Abscheider mit dem unteren Bereich des

Wirbelschicht-Reaktors verbindenden Rückführleitung umlaufen. Üblicherweise beträgt die pro Stunde umlaufende Feststoffmenge mindestens das Dreifache der in dem Wirbelschicht-Reaktor befindlichen Feststoffmenge.

- 5 Die Feststoffe können auch durch mindestens zwei aufeinanderfolgende Wirbelschicht-Reaktoren geführt werden, bspw. zwei mit Wehren oder Trennwänden voneinander abgetrennte Wirbelkammern, in denen sich die stationären Wirbelschichten ausbilden und in die aus Hohlleitern kommende elektromagnetische Wellen (Mikrowellen) eingespeist werden. Dabei kann sich der Feststoff als
- 10 Wanderbett aus einem Wirbelschicht-Reaktor in den benachbarten Wirbelschicht-Reaktor bewegen. Eine Variante besteht darin, dass zwischen den beiden benachbarten Wirbelschicht-Reaktoren eine insbesondere mit beiden Wirbelkammern verbundene Zwischenkammer angeordnet ist, die ein Wanderbett aus körnigen Feststoffen enthält, wobei der Zwischenkammer kein Hohlleiter zugeordnet ist. Eine andere Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass zur Trennung von beiden Wirbelkammern eine Trennwand mit der Öffnung im Bodenbereich verwendet wird.

- 20 Besonders vorteilhaft können die Betriebsbedingungen, insbesondere Temperatur, Fluidisierungsgas-Zusammensetzung, Energieeintrag und/oder Fluidisierungsgeschwindigkeit, für jeden von mehreren Wirbelschicht-Reaktoren unterschiedlich vorgegeben werden. Bei einem Wanderbett oder mehreren aufeinanderfolgenden Wanderbetten können die Feststoffe so bspw. zunächst durch eine Vorwärmkammer geleitet werden, die dem ersten Wanderbett vorgeschaltet ist.
- 25 Ferner kann dem letzten der thermischen Behandlung dienenden Wanderbett eine Kühlkammer nachgeschaltet sein, um das Feststoffprodukt abzukühlen.

- 30 Ein weiterer Vorteil ergibt sich dadurch, dass durch den kontinuierlichen Gasstrom durch den Hohlleiter Feststoff-Ablagerungen im Hohlleiter vermieden werden. Diese Feststoffablagerungen verändern in unerwünschter Weise den

Querschnitt des Hohlleiters und nehmen einen Teil der Mikrowellen-Energie auf, die für die Feststoffe im Wirbelbett ausgelegt war. Durch die Energieaufnahme im Hohlleiter erwärmt sich dieser sehr stark, wodurch das Material einem starken thermischen Verschleiß unterliegt. Außerdem bewirken Feststoff-  
5 Ablagerungen im Hohlleiter unerwünschte Rückkopplungen auf die Mikrowellen-Quelle.

Als Mikrowellen-Quellen, d.h. als Quellen für die elektromagnetischen Wellen, eignen sich z.B. ein Magnetron oder Klystron. Ferner können Hochfrequenzge-  
neratoren mit entsprechenden Spulen oder Leistungstransistoren eingesetzt  
10 werden. Die Frequenzen der von der Mikrowellen-Quelle ausgehenden elektromagnetischen Wellen liegen üblicherweise im Bereich von 300 MHz bis 30 GHz. Vorzugsweise werden die ISM-Frequenzen 435 MHz, 915 MHz und 2,45 GHz verwendet. Die optimalen Frequenzen werden zweckmäßigerweise für jeden  
15 Anwendungsfall im Probetrieb ermittelt.

Der Hohlleiter besteht erfindungsgemäß ganz oder weitgehend aus elektrisch leitendem Material, z.B. Kupfer. Die Länge des Hohlleiters liegt im Bereich von 0,1 bis 10 m. Der Hohlleiter kann gerade oder gebogen ausgeführt sein. Bevor-  
zugt werden hierfür Profile mit rundem oder rechteckigem Querschnitt verwen-  
det, wobei die Abmessungen insbesondere an die verwendete Frequenz ange-  
passt sind.

Die Temperaturen im Wirbelbett liegen bspw. im Bereich von 300 bis 1200 °C, und es kann sich empfehlen, zusätzliche Wärme, z.B. durch indirekten Wärme-  
austausch, in das Wirbelbett einzubringen. Für die Temperaturmessung im Wir-  
belbett eignen sich isolierte Messfühler, Strahlungspyrometer oder faseroptische  
25 Sensoren.



Die Gasgeschwindigkeiten in dem Hohlleiter werden erfindungsgemäß so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahlen im Hohlleiter im Bereich zwischen 0,1 und 100 liegen. Dabei sind die Partikel-Froude-Zahlen wie folgt definiert:

5

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} * d_p * g}}$$

mit

u = effektive Geschwindigkeit der Gasströmung in m/s

$\rho_s$  = Dichte der in den Hohlleiter eindringenden Feststoffpartikel bzw. Prozessgase in kg/m<sup>3</sup>

10

$\rho_f$  = effektive Dichte des Spülgases im Hohlleiter in kg/m<sup>3</sup>

$d_p$  = mittlerer Durchmesser der beim Reaktorbetrieb vorliegenden Partikel des Reaktorinventars (bzw. der sich bildenden Teilchen) in m

g = Gravitationskonstante in m/s<sup>2</sup>.

15

Um das Eindringen von Feststoffpartikeln oder entstehenden Prozessgasen aus dem Reaktor in den Hohlleiter zu verhindern, strömt als Spülgas dienendes Gas durch den Hohlleiter. Feststoffpartikel können bspw. in dem Reaktor vorhandene Staubpartikel oder auch die behandelten Feststoffe sein. Prozessgase entstehen bei den im Reaktor ablaufenden Prozessen. Durch die Vorgabe bestimmter Partikel-Froude-Zahlen wird erfindungsgemäß bei der Einstellung der Gasgeschwindigkeiten das Dichteverhältnis der eindringenden Feststoffpartikel bzw. Prozessgase zu dem Spülgas berücksichtigt, das neben der Geschwindigkeit des Spülgastroms entscheidend dafür ist, ob der Spülgastrom die eindringenden Teilchen mitreißen kann oder nicht. Dadurch kann verhindert werden, dass Stoffe in den Hohlleiter eindringen. Für die meisten Anwendungsfälle wird eine Partikel-Froude-Zahl zwischen 2 und 30 bevorzugt.

20

25

Bei den nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zu behandelnden körnigen Feststoffen kann es sich z.B. um Erze und insbesondere sulfidische Erze handeln, die z.B. für die Gewinnung von Gold, Kupfer oder Zink vorbereitet werden. Ferner kann man Recycling-Stoffe, z.B. zinkhaltiges Wälzoxid oder Abfallstoffe, der thermischen Behandlung im Wirbelbett unterwerfen. Wenn man sulfidische Erze, wie z.B. goldhaltigen Arsenopyrit, dem Verfahren unterzieht, wird das Sulfid zu Oxid umgewandelt und dabei bei geeigneter Verfahrensführung bevorzugt elementarer Schwefel und nur geringe Mengen  $\text{SO}_2$  gebildet. Das erfindungsgemäße Verfahren lockert die Struktur des Erzes in günstiger Weise auf, so dass die anschließende Goldlaugung zu verbesserten Erträgen führt. Das durch die thermische Behandlung bevorzugt gebildete Arsen-Eisen-Sulfid ( $\text{FeAsS}$ ) ist problemlos deponierbar. Es ist zweckmäßig, dass die zu behandelnden Feststoffe mindestens teilweise die verwendete elektromagnetische Strahlung absorbieren und damit das Bett erwärmen. Erstaunlicherweise hat sich gezeigt, dass insbesondere bei hohen Feldstärken behandeltes Material leichter gelaugt werden kann. Häufig lassen sich auch andere verfahrenstechnische Vorteile realisieren, wie z.B. verkürzte Verweilzeiten oder Absenkung erforderlicher Prozesstemperaturen.

Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine Anlage insbesondere zur Durchführung des vorbeschriebenen Verfahrens zur thermischen Behandlung von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett. Eine erfindungsgemäße Anlage weist einen Wirbelschicht-Reaktor, eine außerhalb des Wirbelschicht-Reaktors angeordnete Mikrowellen-Quelle und einen Hohlleiter zum Einspeisen der Mikrowellenstrahlung in den Wirbelschicht-Reaktor auf, wobei an den Hohlleiter eine Gaszufuhrleitung zum Einspeisen von Gas in den Wirbelschicht-Reaktor angeschlossen ist.

Ferner kann der Reaktor rinnenförmig ausgebildet sein und einen gasdurchlässigen Boden zum Eintritt von Fluidisierungsgas aufweisen, bspw. einen mit


Loch- oder Schlitzöffnungen, Glockendüsen oder ähnlichen für die Wirbeltechnik geeigneten Öffnungen versehenen Boden. Dieser als Wirbelschichtrinne aufgebaute Reaktor kann waagrecht oder mit einem kleinen Neigungswinkel von wenigen Grad aufgestellt sein und ein Längen- zu Breitenverhältnis von mindestens 1,5 zu 1, beispielsweise 4 zu 1 aufweisen. In einem solchen rinnenförmigen Reaktor lässt sich erfindungsgemäß die Behandlung und der Transport der körnigen Feststoffe gut realisieren. Um den Wirbelinnenreaktor in mehrere Zonen zu unterteilen, können je nach Prozess Zwischenwände oder Wehre innerhalb der in der Rinne ausgebildeten Wirbelschicht und/oder in dem oberhalb der Wirbelschicht befindlichen Gasraum angeordnet werden, wobei eine Öffnung für den Durchtritt der körnigen Feststoffe verbleibt. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Zwischenwände bzw. Wehre zur Zonenabtrennung verstellbar ausgeführt sind, so dass die Höhe des Wirbelgutes und die Schlitzhöhe für den Übertritt von Zone zu Zone variiert werden können. Die Betttiefe in der Wirbelrinne wird so ausgewählt, dass in jeder Zone durch gute Durchmischung ein nahezu gleichmäßiger Energiezustand erreicht wird. Statt Übertrittwehren ist bei geeignetem Wirbelgut auch das Siphonprinzip einsetzbar. Mikrowellen-Eintrittsöffnungen mit angeschlossenen Hohlleitern können in allen oder einzelnen Zonen vorgesehen werden.

Weiterbildungen, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung von Anwendungsbeispielen und der Zeichnung. Dabei gehören alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination zum Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung.

### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

5     Fig. 1             die thermische Behandlung körniger Feststoffe in einem stationären Wirbelbett in schematischer Darstellung;


     Fig. 2             eine Verfahrensvariante mit einer zirkulierenden Wirbelschicht und

10

Fig. 3, 4, 5, 6     Verfahrensvarianten mit mehreren stationären Wirbelbetten.

### Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

15     In Fig. 1 ist eine Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen in einer auch als Wirbelbett bezeichneten stationären Wirbelschicht 3 dargestellt.

     Die Anlage weist einen Wirbelschicht-Reaktor 1 auf, in den durch eine Leitung 2 zu behandelnde körnige Feststoffe eingeleitet werden. Dort bilden die Feststoffe in einer Kammer ein stationäres Wirbelbett 3 aus, das von einem Fluidisierungsgas, bspw. Luft, durchströmt wird. Dazu wird das Fluidisierungsgas von unten durch einen Gasverteiler 4 in das Wirbelbett 3 geleitet. Im oberen Bereich des Wirbelschicht-Reaktors 1 ist an die Kammer mit der stationären Wirbelschicht 3 ein offener Hohlleiter 5 angeschlossen, der zu einer Mikrowellen-Quelle 7 führt. Die von der Mikrowellen-Quelle 7 ausgehenden elektromagnetischen Wellen werden durch den Hohlleiter 5 geleitet und in die Kammer des Wirbelschicht-Reaktors 1 eingespeist. Sie tragen zumindest teilweise zum Aufheizen des Wirbelbettes 3 bei. Ferner wird durch eine Leitung 6 seitlich Spülgas, z.B. Luft oder Stickstoff, in den Hohlleiter 5 eingespeist, das in den Wirbel-

25

30

schicht-Reaktor 1 strömt und das Eintreten von Staub oder Prozessgasen aus der Kammer mit dem stationären Wirbelbett 3 in den Hohlleiter 5 verhindert. Auf diese Weise werden die Mikrowellen-Quelle 7 vor einer Beschädigung geschützt und gleichzeitig Mikrowellen absorbierende Schmutzablagerungen in dem Hohlleiter 5 verhindert, ohne dass der offene Hohlleiter 5 durch ein für Mikrowellen transparentes Fenster verschlossen werden muss.

Sofern für den Prozess erforderlich, kann zusätzlich eine Beheizung des stationären Wirbelbetts 3 durch einen in dem Wirbelbett 3 angeordneten Wärmeaustauscher 8 erfolgen. Gebildete Gase und Dämpfe verlassen die Kammer des Wirbelschicht-Reaktors 1 durch eine Leitung 9 und werden einer nicht dargestellten, an sich bekannten Kühlung und Entstaubung zugeführt. Die behandelten körnigen Feststoffe zieht man durch die Austragsleitung 10 aus dem Wirbelschicht-Reaktor 1 ab.

In Fig. 2 ist der Wirbelschicht-Reaktor 1 als Reaktor mit einem zirkulierenden Wirbelbett (Wirbelschicht) ausgeführt. Die zu behandelnden Feststoffe werden über die Leitung 2 in den Wirbelschicht-Reaktor 1 geleitet und von in den Wirbelschicht-Reaktor 1 eingeleitetem Fluidisierungsgas mitgerissen, wodurch sich die zirkulierende Wirbelschicht ausbildet. Die Feststoffe werden dann zumindest teilweise mit dem Gas durch eine Leitung 11 aus dem Wirbelschicht-Reaktor 1 ausgetragen und in einen Feststoff-Abscheider 12 geführt. Die darin abgeschiedenen Feststoffe werden zumindest teilweise durch eine Rückführleitung 13 in den unteren Bereich der zirkulierenden Wirbelschicht des Wirbelschicht-Reaktors 1 rezirkuliert. Ein Teil der Feststoffe kann auch durch die Austragsleitung 14 ausgeschleust werden. Grobe Feststoffe, die sich unten in dem Wirbelschicht-Reaktor 1 ablagern, können durch eine Abzugsleitung 15 aus dem Reaktor 1 entfernt werden. Das Fluidisierungsgas zur Bildung der zirkulierenden Wirbelschicht, z.B. Luft, wird durch eine Leitung 4a an den Wirbelschicht-Reaktor 1 herangeführt und gelangt zunächst in eine Verteilkammer 4h, bevor

es durch einen Rost 4i in den Wirbelschicht-Reaktor 1 einströmt, den eingetragenen insbesondere feinkörnigen Feststoff mitreißt und als Wirbelbett eine zirkulierende Wirbelschicht ausbildet.

5 Ein Hohlleiter 5 verbindet eine Mikrowellen-Quelle 7 mit der Kammer des Wirbelschicht-Reaktors 1, durch den wie in der Anlage gemäß Fig. 1 Mikrowellen zur Erwärmung der körnigen Feststoffe in den Mikrowellen-Reaktor 1 eingespeist werden. Zusätzlich durchströmt Spülgas aus der Leitung 6 den Hohlleiter 10 5, um den Eintritt von Schmutz sowie Ablagerungen in dem Hohlleiter 5 zu vermeiden. Auch im vorliegenden Fall kann der Innenbereich der Kammer wieder mit einem oder mehreren Wärmeaustauschern zum zusätzlichen Beheizen der körnigen Feststoffe versehen sein, was in Fig. 2 der besseren Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt wurde.

15 Staubhaltiges Gas verlässt den Feststoff-Abscheider 12 durch die Leitung 9 und wird zunächst in einem Abhitzekessel 16 gekühlt, bevor es durch eine Entstaubung 17 geführt wird. Dabei kann abgeschiedener Staub entweder aus dem Verfahren entfernt oder durch eine nicht dargestellte Leitung zurück in die Kammer des Wirbelschicht-Reaktors 1 geführt werden.

Gemäß Fig. 3 sind zwei stationäre Wirbelschicht-Reaktoren 1 und 1a aufeinanderfolgend angeordnet, wobei sich zwischen den Kammern der beiden Reaktoren 1 und 1a eine Zwischenkammer 1c befindet. In allen drei Kammern bilden die Feststoffe ein stationäres Wirbelbett 3, 3a, das von Fluidisierungsgas durchströmt wird. Das Fluidisierungsgas wird für jede Kammer jeweils durch eine eigene Leitung 4a, 4b, 4c herangeführt. Die zu behandelnden körnigen Feststoffe treten durch die Leitung 2 in den ersten Wirbelschicht-Reaktor 1 ein und fertig behandelte Feststoffe verlassen den zweiten Wirbelschicht-Reaktor 1a durch die Austragsleitung 10. Vom oberen Bereich der Kammer des ersten Reaktors 1 25 30 reicht eine erste Wand 19 nach unten. Sie ist jedoch nicht bis zum Boden ge-

führt, so dass im Bodenbereich eine Öffnung 20 frei bleibt, durch welche Feststoffe vom ersten Wirbelbett 3 in das Wirbelbett 3a der Zwischenkammer 1c gelangen können. Die Zwischenkammer 1c reicht bis zu einer wehrartigen zweiten Wand 21, über die hinweg die Feststoffe vom Wirbelbett 3a der Zwischenkammer 1c in die Kammer des zweiten Wirbelschicht-Reaktors 1a bewegt werden. An die Kammern der beiden Reaktoren 1 und 1a sind entsprechend den Anlagen gemäß Fig. 1 und 2 jeweils Hohlleiter 5 mit Spülluftleitungen 6 und Mikrowellen-Quellen 7 angeschlossen, durch die Mikrowellen und Spülgas in die Reaktoren 1 und 1a eingespeist werden. In den Kammern der Reaktoren 1 und 1a können zusätzlich Wärmeaustauschelemente 8 angeordnet sein.

Der Gasraum 22 über dem Wirbelbett 3 des ersten Wirbelschicht-Reaktors 1 ist von dem Gasraum 23, der zu der Kammer des zweiten Reaktors 1a und der Zwischenkammer 1c gehört, durch die vertikale Wand 19 getrennt. Für die Gasräume 22, 23 existieren separate Gasabzugsleitungen 9 und 9a. Dadurch können in den Kammern der Reaktoren 1 und 1a unterschiedliche Bedingungen aufrechterhalten werden, insbesondere können unterschiedliche Temperaturen herrschen oder unterschiedliche Fluidisierungsgase durch die getrennten Gaszufuhrleitungen 4a, 4b, 4c zugeführt werden. Ferner können die beiden Mikrowellen-Quellen 7 unterschiedlich ausgestaltet sein und verschiedene Aufgaben erfüllen. Insbesondere können Mikrowellen verschiedener Frequenz oder Energie erzeugt und durch die Hohlleiter 5 eingespeist werden.

Gemäß Fig. 4 sind zwei stationäre Wirbelschicht-Reaktoren 1 und 1a ohne Zwischenkammer unmittelbar aufeinanderfolgend angeordnet, wobei sich zwischen beiden eine Trennwand 19 befindet. In den Kammern der beiden Reaktoren 1, 1a bilden die Feststoffe ein stationäres Wirbelbett 3, 3a aus, das durch Fluidisierungsgas aus mehreren, nebeneinander angeordneten Leitungen 4a, 4b, 4c fluidisiert wird. Die zu behandelnden körnigen Feststoffe werden dem ersten Wirbelschicht-Reaktor 1 durch die Leitung 2 zugeführt und die behandelten Fest-

stoffe verlassen den Wirbelschicht-Reaktor 1a durch die Austragsleitung 10. Vom oberen Bereich der Kammer des ersten Reaktors 1 reicht eine erste Wand 19 nach unten, die jedoch nicht bis zum Boden geführt ist, so dass im Bodenbereich eine Öffnung 20 frei bleibt, durch welche Feststoffe vom ersten Wirbelbett 3 in das Wirbelbett 3a des zweiten Wirbelschicht-Reaktors 1a gelangen können. Zu den beiden Kammern der Reaktoren 1 und 1a führen jeweils Hohlleiter 5, die an Mikrowellen-Quellen 7 angeschlossen sind. Durch diese offenen Hohlleiter 5 werden nach dem bei den bisherigen Ausführungsformen bereits beschriebenen Prinzip Mikrowellen in die beiden Reaktoren 1, 1a eingespeist, um die zu behandelnden Feststoffe, welche die Mikrowellenstrahlung absorbieren, zu erhitzen und die notwendigen Prozesstemperaturen zu erreichen. Dabei strömt durch Spülluftleitungen 6 gleichzeitig Spülgas in die Hohlleiter 5 ein, um in diesen Ablagerungen zu vermeiden. In den Kammern der Reaktoren 1 und 1a können zusätzlich Wärmeaustauschelemente 8 angeordnet sein.

Der Gasraum 22 über dem Wirbelbett 3 des ersten Wirbelschicht-Reaktors 1 ist vom Gasraum 23, der zur Kammer des zweiten Reaktors 1a gehört, durch die vertikale Wand 19 getrennt. Es existieren separate Gasabzugsleitungen 9 und 9a. Dadurch können in den verschiedenen Reaktorkammern 1 und 1a unterschiedliche Bedingungen aufrechterhalten werden, insbesondere können die Temperaturen oder die Gasphasenzusammensetzung unterschiedlich sein. Auch können unterschiedliche Fluidisierungsgase durch die jeweiligen Leitungen 4a, 4b, 4c zugeführt werden. Ferner können die beiden Mikrowellen-Quellen 7 unterschiedlich ausgestaltet sein und verschiedene Aufgaben erfüllen.

Bei der Anordnung gemäß Fig. 5 treten die zu behandelnden Feststoffe, die in der Leitung 2 herangeführt werden, zunächst in eine Vorkammer 31 ein und gelangen durch eine erste Zwischenkammer 32 in den ersten Wirbelschicht-Reaktor 1. Aus diesem treten die Feststoffe dann durch eine zweite Zwischenkammer 1c in den zweiten Wirbelschicht-Reaktor 1a und schließlich durch die



5 dritte Zwischenkammer 33 in eine Kühlkammer 34 ein, bevor die behandelten und gekühlten Feststoffe durch die Austragsleitung 10 abgezogen werden. In die Kammern der Wirbelschicht-Reaktoren 1 und 1a münden jeweils Hohlleiter 5 mit zugehörigen, nicht dargestellten Mikrowellen-Quellen, um nach dem bereits beschriebenen Prinzip Mikrowellen in die Reaktoren 1 und 1a einzuspeisen. In allen Kammern befinden sich stationäre Wirbelbetten, denen man Fluidisierungsgas durch für jede Kammer getrennte Gaszufuhrleitungen 4a bis 4g zuführt. Die Abgase treten durch entsprechende Leitungen 9a bis 9d aus.

10 In der Kühlkammer 34 befindet sich im Wirbelbett eine Kühleinrichtung 35 zum indirekten Wärmeaustausch, deren Kühlfluid, z.B. Kühlwasser, in der Kühleinrichtung 35 erwärmt und dann durch die Leitung 36 zum Wärmeaustauscher 37 in der Vorwärmkammer 31 geführt wird. Dort gibt das Kühlfluid einen Teil seiner Wärme an die Feststoffe im dortigem Wirbelbett ab, wodurch eine sehr ökonomische Wärmeausnutzung erreicht wird.

20 In Fig. 6 ist als Variante einer weiteren erfindungsgemäßen Anlage ein Wirbelrinnenreaktor 38 gezeigt, in dem die Wirbelschicht in einem rinnenartigen Boden 39 mit Durchtrittsöffnungen für ein Fluidisierungsgas ausgebildet wird. Der Wirbelrinnenreaktor 38 ist in vier, durch einstellbare Zwischenwände 40 getrennte Zonen 41a bis 41d eingeteilt, wobei die erste Zone 41a eine Vorwärmzone, die zweite Zone 41b eine Oxidationszone, die dritte Zone 41c eine Reduktionszone und die vierte Zone 41d eine Kühlzone bilden. Jeder der Zonen 41a bis 41d ist ein Abscheider 42, bspw. ein Zyklon, nachgeschaltet, der die mit dem Fluidisierungsgas ausgetragenen Feststoffe von dem Gasstrom trennt und der jeweiligen Zone 41a bis 41d wieder rückführt. Die Abgase aus den Abscheidern 42 werden im Sinne einer hohen Energieausnutzung mit einer geeigneten Gasrückführung anderen Zonen 41a bis 41d zugeleitet.

Über eine Eintragsleitung 43 werden die zu behandelnden Feststoffe der ersten Zone 41a des Reaktors 38 zugeführt. Als Fluidisierungsgas wird der ersten Zone 41a heißes Abgas aus einer ersten Brennkammer 44 zugeführt, um das eingebrachte Material zu trocknen und vorzuwärmen. Die entsprechend vorgewärmten Feststoffe gelangen durch die Zwischenwand 40 in die Oxidationszone 41b, in die ebenfalls heißes Abgas aus einer zweiten Brennkammer 45 zugeführt wird. An beide Brennkammern 44, 45 sind Zuführungen für Brennstoff und Luft sowie ggf. vorgewärmtes Abgas aus anderen Prozesszonen 41a bis 41d angeschlossen. Aus der Oxidationszone 41b werden die Feststoffe der Reduktionszone 41c zugeführt. Das Abgas aus der Oxidationszone 41b kann zum Schutz des nachgeschalteten Kompressors über einen Kühler 47 ebenfalls in die Reduktionszone 41c geleitet werden. Ggf. wird das Abgas in einem Aufheizer 49 nochmals erhitzt.

Um das zu behandelnde Wirbelgut in den gewünschten Energiezustand zu bringen, werden zusätzlich Mikrowellenstrahlen durch von Spülgas durchströmte Hohlleiter 46 in die Oxidationszone 41b und die Reduktionszone 41c eingestrahlt. Durch die Mikrowellenstrahlung werden die Feststoffe durch eine innere Anregung erhitzt, so dass der Energiezustand einfach eingestellt werden kann. In der letzten Zone 41d wird das behandelte Gut mit eingeströmter Luft gekühlt und durch die Austragsleitung 48 als Produkt ausgetragen.

Um die Einspeisung von Mikrowellen in eine stationäre oder zirkulierende Wirbelschicht 3, 3a effizienter zu gestalten und dabei die Mikrowellen-Quelle 7 gegen die entstehenden Gase, Dämpfe und Stäube zu schützen, ist die Mikrowellen-Quelle 7 erfindungsgemäß außerhalb der stationären oder zirkulierenden Wirbelschicht 3, 3a und der Wirbelschicht-Reaktoren 1, 1a, 38 angeordnet. Die Mikrowellen-Strahlung wird durch mindestens einen offenen Hohlleiter 5, 46 in den Wirbelschicht-Reaktor 1, 1a, 38 eingespeist, wobei durch den Hohlleiter 5, 46 zusätzlich zur Mikrowellenstrahlung ein Gasstrom in den Wirbelschicht-

Reaktor 1, 1a, 38 einströmt. Mit dem Gasstrom wird der Hohlleiter 5, 46 staubfrei gehalten, was den Wirkungsgrad der Mikrowelleneinspeisung erheblich erhöht.

### 5      **Beispiel 1    (Rösten von pyrithaltigen Erzen)**

Pyrit wird mit Korngrößen im Bereich von 80 bis 160  $\mu\text{m}$  in zwei aufeinanderfolgenden Wirbelbetten 3, 3a behandelt, die entsprechend der Anlage gemäß Fig. 4 ausgeführt sind. Die Bestrahlung erfolgt in beiden Kammern durch Mikrowellen mit einer Frequenz von 2,45 GHz. Als Strahlungsquelle dienen Magnetrons.

In den ersten Wirbelschicht-Reaktor 1 werden 182,5 kg/h Pyrit eingefüllt. Zur Fluidisierung der Wirbelschicht 3 werden 360  $\text{Nm}^3/\text{h}$  Stickstoff verwendet, die durch die Leitung 4a zugeführt werden, womit sich eine Wirbelschichthöhe von 20 cm einstellt. Der Massenstrom der festen Reaktionsprodukte aus dem ersten Wirbelschicht-Reaktor 1 beträgt nach der Mikrowellenbehandlung 153,5 kg/h. Die erste Kammer wird bei 550 °C und Magnetronenstrahlung von 36 kW betrieben.

Dem zweiten Wirbelbett 3a wird entölte Druckluft mit einem Volumenstrom von 120  $\text{Nm}^3/\text{h}$  durch die Leitung 4c zugeführt. Die zweite Kammer wird bei 500 °C und einer Mikrowelleneinstrahlung von 36 kW betrieben. Nach 90 min stellt sich ein stationärer Zustand ein; der Massenstrom der festen Reaktionsprodukte beträgt nach der Mikrowellenbehandlung 140,2 kg/h.

Als Spülgas wird jeweils das zur Fluidisierung verwendete Gas benutzt, d.h. in der ersten Kammer Stickstoff und in der zweiten Kammer entölte Druckluft, die jeweils einen Volumenstrom von 50  $\text{Nm}^3/\text{h}$  haben.

Der Phasenbestand des eingesetzten Pyrits und der Produkte der ersten und zweiten Prozessstufe werden röntgendiffraktometrisch analysiert. Im Pyrit ist nur  $\text{FeS}_2$  nachweisbar. Nach der ersten Temperaturbehandlung besteht der Feststoff aus unterstöchiometrischem  $\text{FeS}$  und  $\text{FeS}_2$  etwa gemäß  $\text{FeS}_x$  mit  $x = 1,4$ .

5 Nach der zweiten Stufe können keine schwefelhaltigen Produkte mehr nachgewiesen werden, der Feststoff besteht praktisch ausschließlich aus Hämatit.

### Beispiel 2 (Rösten von goldhaltigem Erz)

10 Im Labormaßstab wird Golderz mit Korngrößen im Bereich unter  $250\ \mu\text{m}$  in einer zirkulierenden Wirbelschicht behandelt, die entsprechend Fig. 2 ausgeführt ist. Die Bestrahlung erfolgt durch Mikrowellen mit einer Frequenz von  $2,45\ \text{GHz}$ . Als Strahlungsquelle dient ein Magnetron. Durch den Hohlleiter 5 werden dem Reaktor 1 zur Spülung  $24\ \text{Nm}^3/\text{h}$  Luft zugeführt.

15

#### Feed

Typ Golderz, gemahlen, getrocknet und klassiert

#### Kornfraktion

max  $\mu\text{m}$  250

#### Zusammensetzung Gew %

org. C 1.05

$\text{CaCO}_3$  19.3

$\text{Al}_2\text{O}_3$  12.44

$\text{FeS}_2$  2.75

Innerts, z.B.  $\text{SiO}_2$  64.46

Einsatzmenge, ca. g 100

#### Apparatur

Typ des Reaktors Zirkulierende Wirbelschicht mit Mikrowellen-Einstrahlung

Reaktor-Durchmesser mm 200

Magnetron 500 W, 2.45 GHz  
Mikrowelleneinkopplung Hohlleiter, R26 (43 x 86mm) ausgeführt als Sekundärluftleitung  
angeschlossen: online-Gasanalytik + Abgaswäsche  
Arbeitsweise kontinuierlich

### Versuchsbedingungen und Ergebnisse

		Eintritt	Austritt
Massenstrom, Golderz-Feed	kg/h	195	
Primärluft	°C	250	
	Nm³/h	30	
	°C	50	
Ölverbrauch	kg/h	0.70	
Sekundärluft, vorgewärmt mittels Luvo auf	°C	425	
Sekundärluft, Verbrauch	Nm³/h	24	
Trocknerluft	°C	50	320
	Nm³/h	70	70
Abbrand, ex-WS luvo	°C		400
	kg/h		182
Röstgas, gesamt			
	Nm³/h		59
	°C		600
Zusammensetzung, tr.			
CO <sub>2</sub>	Vol%		23.3
N <sub>2</sub>	Vol%		74.3
O <sub>2</sub>	Vol%		2.4
SO <sub>2</sub>	ppV		134.1

Der Phasenbestand des eingesetzten Materials und der Produkte wird röntgen-  
diffraktometrisch analysiert. Nach der Behandlung können weder Restschwefel  
noch organischer Kohlenstoff im Abbrand nachgewiesen werden, der Feststoff  
weist eine hellgraue Färbung auf.

**Bezugszeichenliste:**

	1, 1a	Wirbelschicht-Reaktor	25	20	Öffnung
	1c	Zwischenkammer		21	Wehr, Trennwand
5	2	Leitung		31	Vorkammer
	3, 3a	Wirbelschicht, Wirbelbett		32	Zwischenkammer
	4	Gasverteiler		33	Zwischenkammer
	4a bis g	Leitungen	30	34	Kühlkammer
	4h	Verteilkammer		35	Kühleinrichtung
10	4i	Rost		36	Leitung
	5	Hohlleiter		37	Wärmetauscher
	6	Leitung		38	Wirbelinnenreaktor
	7	Mikrowellen-Quelle	35	39	Boden
	8	Wärmetauscher		40	Zwischenwände
15	9	Leitung, Gasabzugsleitung		41a bis d	Zonen
	10	Austragsleitung		42	Abscheider
	11	Leitung		43	Eintragsleitung
	12	Feststoff-Abscheider	40	44	Brennkammer
	13	Rückführleitung		45	Brennkammer
20	14	Austragsleitung		46	Hohlleiter
	15	Abzugsleitung		47	Kühler
	16	Abhitzekeessel		48	Austragsleitung
	17	Entstaubung	45	49	Aufheizer
	19	Wehr, Trennwand			

## Patentansprüche

1. Verfahren zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett (3, 3a), welches sich in einem Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38) befindet, bei dem Mikrowellenstrahlung durch mindestens einen Hohlleiter (5, 46) in den Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38) eingespeist wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gasstrom durch denselben Hohlleiter (5, 46) in den Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38) eingespeist wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der durch den Hohlleiter (5, 46) eingespeiste Gasstrom mit dem Wirbelbett (3, 3a) reagierende Gase enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der durch den Hohlleiter (5, 46) eingespeiste Gasstrom zusätzlich für eine Fluidisierung des Wirbelbettes (3, 3a) genutzt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Wirbelbett (3, 3a) durch den eingespeisten Gasstrom zusätzlich Wärme zugeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wirbelbett (3, 3a) durch den eingespeisten Gasstrom gekühlt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wirbelbett (3, 3a) Teil einer stationären und/oder zirkulierenden Wirbelschicht ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor aus mindestens zwei Wirbelschicht-Reaktoren

(1, 1a, 41a bis d) besteht, die untereinander mit Wehren oder Trennwänden (19, 21, 40) in der Weise abgetrennt sind, dass sich Feststoff als Wanderbett aus einem Wirbelschicht-Reaktor (1, 41a bis c) in einen benachbarten Wirbelschicht-Reaktor (1a, 41b bis d) bewegen kann.

5

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Betriebsbedingungen, insbesondere Temperatur, Fluidisierungsgas-Zusammensetzung, Energieeintrag und/oder Fluidisierungsgeschwindigkeit, für jeden Wirbelschicht-Reaktors (1, 1a, 41 a bis d) unterschiedlich vorgebar sind.

10

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch den in den Hohlleiter (5, 46) eingeführten Gasstrom Feststoff-Ablagerungen im Hohlleiter (5, 46) vermieden werden.

15

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die verwendete Frequenz der Mikrowellenstrahlung zwischen 300 MHz und 30 GHz liegt, vorzugsweise bei den Frequenzen 435 MHz, 915 MHz und 2,45 GHz.

20

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperaturen im Wirbelbett (3, 3a) zwischen 300 °C und 1200 °C liegen.

25

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl  $Fr_p$  im Hohlleiter (5, 46) 0,1 bis 100, vorzugsweise 2 bis 30, beträgt.

30

13. Anlage zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett (3, 3a), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, mit einem Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38), einer au-



ßerhalb des Wirbelschicht-Reaktors (1, 1a, 38) angeordneten Mikrowellen-  
Quelle (7) und einem Hohlleiter (5, 46) zum Einspeisen der Mikrowellenstrah-  
lung in den Wirbelschicht-Reaktor (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass an Hohl-  
leiter (5, 46) eine Gaszufuhrleitung (6) zum Einspeisen von Gas in den Wirbel-  
schicht-Reaktor (1, 1a, 38) angeschlossen ist.

5

14. Anlage nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hohlleiter  
(5) einen rechteckigen oder runden Querschnitt aufweist, dessen Abmessungen  
insbesondere an die verwendete Frequenz der Mikrowellenstrahlung angepasst  
sind.

10

15. Anlage nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der  
Hohlleiter (5, 46) eine Länge von 0,1 m bis 10 m aufweist.

Fig. 1

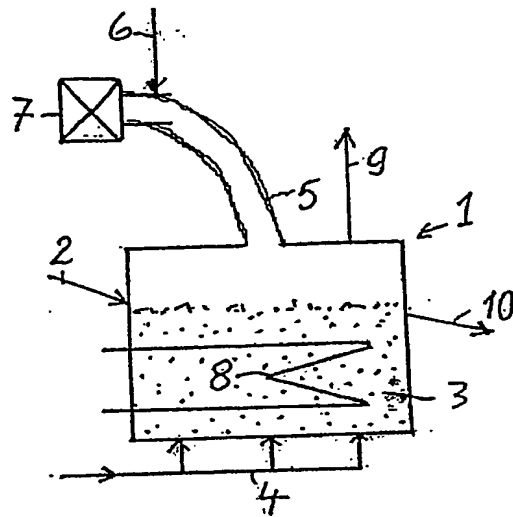


Fig. 2

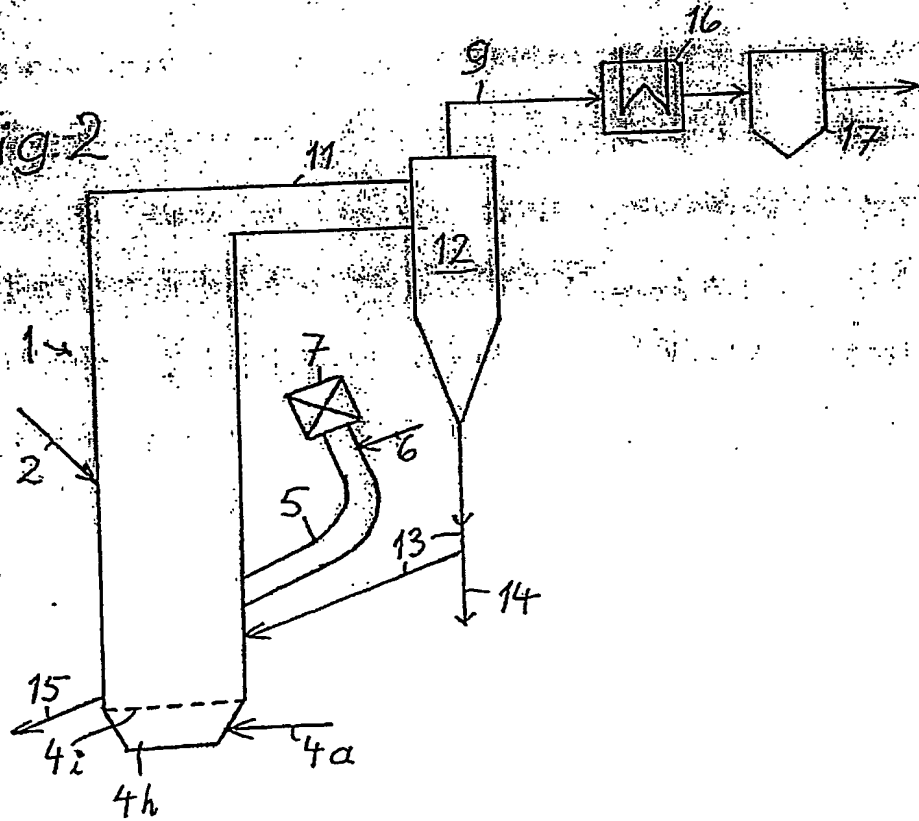


Fig. 3

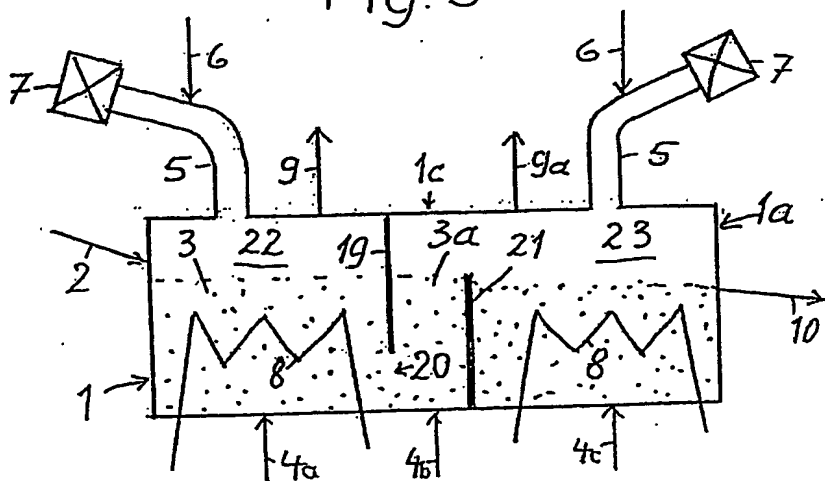


Fig. 4

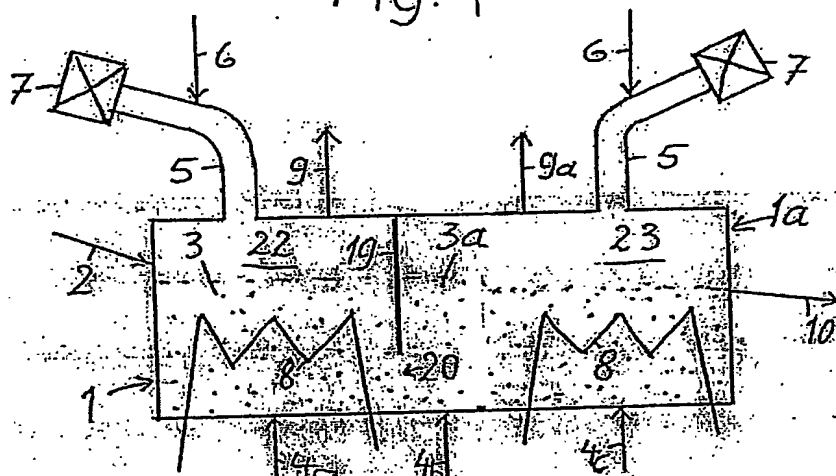
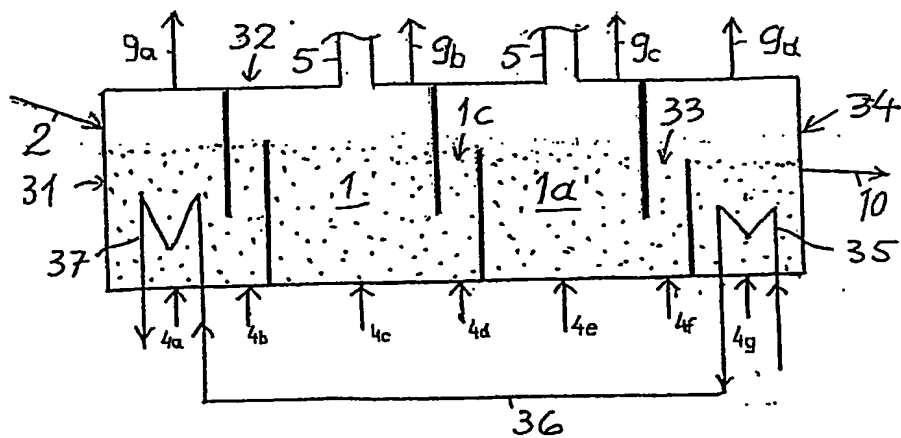


Fig. 5





Outokumpu Oyj  
Riihitontuntie 7

02200 Espoo  
Finnland

Zusammenfassung:

**Verfahren und Anlage zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum thermischen Behandeln von körnigen Feststoffen in einem Wirbelbett (3, 3a), welches sich in einem Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38) befindet, bei dem Mikrowellenstrahlung durch mindestens einen Hohlleiter (5, 46) in den Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38) eingespeist wird, sowie eine entsprechende Anlage. Um Ablagerungen in dem Hohlleiter (5, 46) zu vermeiden, wird ein Gasstrom durch denselben Hohlleiter (5, 46) in den Wirbelschicht-Reaktor (1, 1a, 38) eingespeist. (Fig. 1)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**